

(11)特許出願公開番号

特開2003-88071

(P2003-88071A)

(43)公開日 平成15年3月20日(2003.3.20)

(51)Int.Cl.	識別記号	F I	テマコード*(参考)
H 0 2 K 19/10		H 0 2 K 19/10	A 5 H 5 5 0
1/27	5 0 1	1/27	5 0 1 A 5 H 6 1 9
			5 0 1 K 5 H 6 2 1
15/03		15/03	C 5 H 6 2 2
21/14		21/14	M
審査請求 未請求 請求項の数15 〇し (全 10 頁) 最終頁に続く			

審査請求 未請求 請求項の数15 OL (全 10 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2001-270678(P2001-270678)

(22)出願日 平成13年9月6日(2001.9.6)

(71)出題人 000003078

株式会社東芝

東京都港区芝浦一丁目1番1号

(72) 発明者 堀 和 人

神奈川県横浜市鶴見区末広町2丁目4番地

株式会社東芝京浜事業所内

(72) 發明者 新 政 憲

神奈川県横浜市鶴見区末広町2丁目4番地

株式会社東芝京浜事業所内

(74) 代理人 100075812

弁理士 吉武 賢次 (外4名)

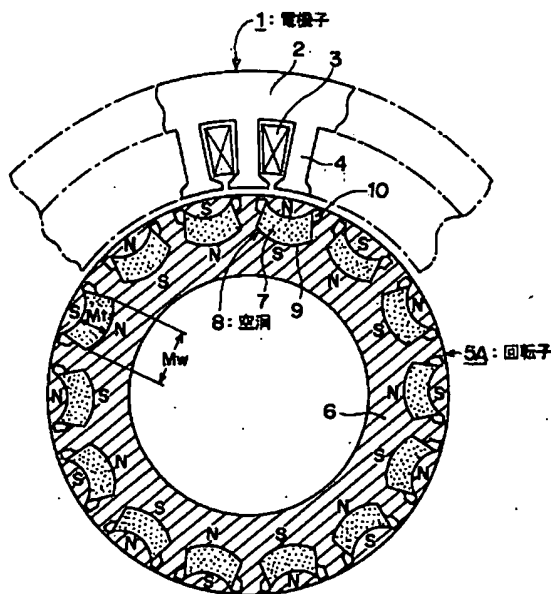
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 リラクタンس型回転電機

(57) 【要約】

【課題】 不可逆減速することなく、小型・高出力・高効率で広範囲の可変速運転を可能にするリラクタンス型回転電機を提供する。

【解決手段】 電機子コイル（３）を有する電機子（１）と、周方向に磁気抵抗の異なる部位を有する回転子（５Ａ）とを備える場合、回転子（５Ａ）の磁気抵抗の大きい部位は、中央部（９）とこの中央部（９）に対して周方向の両側に接続して径方向外側に延出する側端部（１０）とを有する空洞（８）と、空洞（８）の中央部（９）に嵌装されるフェライト磁石（７）とを備え、空洞（８）の中央部（９）の径方向の内法寸法よりも側端部の周方向の内法寸法を小さくし、フェライト磁石（７）は空洞（８）を通る電機子電流の磁束を打ち消すように磁化されている。



【特許請求の範囲】

【請求項1】電機子コイルを有する電機子と、周方向に磁気抵抗の異なる部位を有する回転子とを備えるリラクタンス型回転電機において、前記回転子の磁気抵抗の大きい部位は、中央部とこの中央部に対して周方向の両側に接続して径方向外側に延出する側端部とを有する空洞と、前記空洞の中央部に嵌装されるフェライト磁石と、を備え、前記空洞の中央部の径方向の内法寸法よりも前記側端部の周方向の内法寸法を小さくし、前記フェライト磁石は前記空洞を通る電機子電流の磁束を打ち消すように磁化されていることを特徴とするリラクタンス型回転電機。

【請求項2】前記側端部の周方向の内法寸法はエアギャップ長の5倍以上とすることを特徴とする請求項1に記載のリラクタンス型回転電機。

【請求項3】前記フェライト磁石は、周方向の幅を基準にして径方向の厚みが0.3倍乃至1.0倍であることを特徴とする請求項1又は2に記載のリラクタンス型回転電機。

【請求項4】前記空洞の中央部の周方向に対向する内側面はそれぞれ平面状に形成されると共に、回転中心に近い側の内法寸法よりも径方向外側に離れた側の内法寸法が狭く形成され、前記フェライト磁石の周方向の側面は前記空洞の内側面に嵌合する形状を有することを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載のリラクタンス型回転電機。

【請求項5】前記空洞の中央部の周方向に対向する内側面はそれぞれ平面状に形成されると共に、回転中心に近い側の内法寸法よりも径方向外側に離れた側の内法寸法がより形成され、前記フェライト磁石の周方向の側面の少なくとも一部が前記空洞の内側面に当接することを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載のリラクタンス型回転電機。

【請求項6】前記フェライト磁石の径方向外側面と、これと対向する前記空洞の内側面との間に隙間を設けたことを特徴とする請求項4又は5に記載のリラクタンス型回転電機。

【請求項7】前記空洞の中間部を通る中心線と前記回転子の外周との交点を基準にして、前記空洞の径方向外側の側面までの厚みが、前記側端部までの周方向距離の0.5倍以上であることを特徴とする請求項1乃至6のいずれか1項に記載のリラクタンス型回転電機。

【請求項8】前記空洞の中間部を通る中心線と前記回転子の外周との交差部に、凹形の窪みを形成したことを特徴とする請求項1乃至7のいずれか1項に記載のリラクタンス型回転電機。

【請求項9】前記回転子の磁気抵抗の小さい部位は鉄心のみの磁極で構成され、かつ、前記磁極の周方向幅は、磁極ピッチの0.15乃至0.35倍とすることを特徴

とする請求項1乃至8のいずれか1項に記載の永久磁石式リラクタンス型回転電機。

【請求項10】前記空洞の各側端部に前記フェライト磁石より磁気エネルギーの高い永久磁石を嵌装したことを特徴とする請求項1乃至9のいずれか1項に記載の永久磁石式リラクタンス型回転電機。

【請求項11】電機子コイルを有する電機子と、周方向に磁気抵抗の異なる部位を有する回転子とを備えるリラクタンス型回転電機において、前記回転子の磁気抵抗の大きい部位は、中央部とこの中央部に対して周方向の両側に接続して径方向外側に延出する側端部とを有する空洞と、

前記空洞の側端部に嵌装されるフェライト磁石より磁気エネルギーの高い永久磁石と、を備え、前記空洞の中央部の径方向の内法寸法よりも前記側端部の周方向の内法寸法を小さくしたことを特徴とするリラクタンス型回転電機。

【請求項12】電機子コイルを有する電機子と、周方向に磁気抵抗の異なる部位を有する回転子とを備えるリラクタンス型回転電機において、

前記回転子の磁気抵抗の小さい部位は鉄心のみの磁極で構成され、前記磁極の周方向幅は前記磁極のピッチの0.15乃至0.35倍とし、前記磁極間には径方向外側に前記磁極に接続する鉄心を有し、前記鉄心の内側に空洞が形成され、前記空洞の周方向の両端部を空けてその中央部に前記電機子の磁束を打ち消す方向に磁化されている永久磁石を嵌装したことを特徴とするリラクタンス型回転電機。

【請求項13】前記空洞の中間部を通る中心線と前記回転子の外周との交差部に、凹形の窪みを形成したことを特徴とする請求項12に記載のリラクタンス型回転電機。

【請求項14】前記永久磁石は樹脂と磁石粉から作られていることを特徴とする請求項12又は13に記載のリラクタンス型回転電機。

【請求項15】電機子巻線に鎖交するα軸磁束において、負荷時に電流による磁束と前記フェライト磁石又は永久磁石による磁束が相殺されて零となる状態で動作させることを特徴とする請求項1乃至14のいずれか1項に記載のリラクタンス型回転電機。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、回転子に永久磁石を嵌設したリラクタンス型回転電機に関する。

【0002】

【従来の技術】図12は従来のリラクタンス型回転電機の横断面図である。同図において、電機子1は、複数のスロットが設けられた電磁鋼板を積層してなる電機子鉄心2と、スロットにそれぞれ収められて電機子歯4に巻装された電機子コイル3とで構成されている。一方、電

機子歯4に外周面が対向する回転子5は、磁界を形成するコイルを持たず、外周部に凹凸が形成された回転子鉄心6のみで構成されている。このためリラクタンس型回転電機は構成が簡素であり、製造コストも安価である。

【0003】ここで、リラクタンس型回転電機の出力発生原理について説明する。リラクタンس型回転電機は回転子の外周部に凹凸を設けたことにより、電機子鉄心歯4からの磁界に対して、磁極となる凸部12の磁気抵抗は小さくなり、凹部13での磁気抵抗は大きくなる。従って、凸部と凹部の各空隙部分で電機子コイル3に電流を流すことによって蓄えられる随伴磁気エネルギーが異なる。この随伴磁気エネルギーの変化によって出力が発生する。

【0004】なお、回転子の外周部に幾何学的な凸部と凹部とを形成するだけでなく、磁気抵抗、磁束密度分布が回転子の周方向位置によって異なるように、磁気的な凸部と凹部とを形成することもできる。

【0005】他の高性能な回転電機として、永久磁石回転電機がある。その電機子はリラクタンس型回転電機と同様であるが、回転子のほぼ全周にわたって永久磁石が回転子鉄心の外周部に配置された表面配置型の回転電機と、回転子鉄心内に永久磁石が埋めこまれた埋め込み型永久磁石回転電機とがある。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】リラクタンス型回転電機は回転子鉄心表面の凹凸により回転子の位置で磁気抵抗が異なるため、空隙磁束密度も変化する。この変化により磁気エネルギーが変化して出力が得られる。

【0007】しかし、電流が増加すると、磁極となる鉄心の凸部（以下、d軸とも言う）において局所的な磁気飽和が拡大する。これにより、磁極間となる鉄心の凹部（以下、q軸ともいう）に漏れる磁束が増加すると共に、磁極を通る有効な磁束が減少して出力は低下する。一方、磁気エネルギーから考えると、鉄心の凸部の磁気飽和によって生じる漏れ磁束により、空隙磁束密度の変化が緩やかになり、随伴磁気エネルギーの変化が小さくなる。このため、電流に対して出力の増加率が低下し、やがて出力は飽和する。また、q軸の漏れ磁束は無効な電圧を誘起して力率を低下させる。

【0008】一方、永久磁石回転電機では小型・高出力化のために高磁気エネルギー積の希土類永久磁石が用いられる。希土類材料は資源的に少なく、従って、大量生産が行われる汎用機械に最適なものではなかった。これに対して、酸化鉄のフェライト磁石は材料としては豊富な資源であるため、安定的に供給することができる。しかし、フェライト磁石を回転電機の界磁に適用した場合には、二つの大きな問題がある。

【0009】その一つは、フェライト磁石の磁気エネルギー積が希土類磁石の1/10程度であるため永久磁石の鎖交磁束と電流との積で生じるトルクは小さく、従っ

て、体積当たりの出力も小さい。

【0010】もう一つの問題は、小型高出力化する場合、比電気装荷（電機子内周の長さ当たりのアンペアターン）が高くなり、フェライト磁石の保磁力が小さいため、電機子の電機子反作用磁界でフェライト磁石が不可逆減磁する。特にフェライト磁石は20℃以下の低温で上記よりもさらに低い減磁界で不可逆減磁を生じるといふ大きな問題がある。

【0011】可変速運転を考えた場合、さらに次の問題も生じる。すなわち、永久磁石の磁束は一定であるので電機子コイルに誘導される電圧は回転速度に比例して大きくなる。従って、高速回転までの広範囲の可変速運転を行う場合、表面磁石型回転電機は界磁磁束を減らすことができないため、電源電圧を一定とすると基底速度の2倍以上の定出力運転は困難である。埋め込み型永久磁石回転電機は、永久磁石の鎖交磁束が表面型永久磁石回転電機よりも少なくなるので、磁石の磁化方向と逆の減磁界を形成する電機子反作用を磁石に作用させて、磁石の鎖交磁束を減少させる方法がある。しかし、大きな減磁界を永久磁石にかけなければならないため、フェライト磁石では不可逆減磁を生じる。

【0012】また、空転時において、上記の磁石の磁束を減少させるための電機子巻線に電流を流すため、ジュール熱による電力損失が発生して総合効率は低下する。

【0013】本発明は上記の課題を解決するためになされたもので、第1の目的は不可逆減磁することなく、小型・高出力・高効率で広範囲の可変速運転を可能にするリラクタンス型回転電機を提供するにある。

【0014】本発明の他の目的は、信頼性が高く、製造性に優れたリラクタンス型回転電機を提供するにある。

【0015】

【課題を解決するための手段】請求項1に係る発明は、電機子コイルを有する電機子と、周方向に磁気抵抗の異なる部位を有する回転子とを備えるリラクタンス型回転電機において、回転子の磁気抵抗の大きい部位は、中央部とこの中央部に対して周方向の両側に接続して径方向外側に延出する側端部とを有する空洞と、空洞の中央部に嵌装されるフェライト磁石と、を備え、空洞の中央部の径方向の内法寸法よりも側端部の周方向の内法寸法を小さくし、フェライト磁石は空洞を通る電機子電流の磁束を打ち消すように磁化されていることを特徴とする。

【0016】請求項2に係る発明は、請求項1に記載のリラクタンス型回転電機において、側端部の周方向の内法寸法はエアギャップ長の5倍以上とすることを特徴とする。

【0017】請求項3に係る発明は、請求項1又は2に記載のリラクタンス型回転電機において、フェライト磁石は、周方向の幅を基準にして径方向の厚みが0.3倍乃至1.0倍であることを特徴とする。

【0018】請求項4に係る発明は、請求項1乃至3の

いずれか1項に記載のリラックス型回転電機において、空洞の中央部の周方向に対向する内側面はそれぞれ平面状に形成されると共に、回転中心に近い側の内法寸法よりも径方向外側に離れた側の内法寸法が狭く形成され、フェライト磁石の周方向の側面は空洞の内側面に嵌合する形状を有することを特徴とする。

【0019】請求項5に係る発明は、請求項1乃至3のいずれか1項に記載のリラックス型回転電機において、空洞の中央部の周方向に対向する内側面はそれぞれ平面状に形成されると共に、回転中心に近い側の内法寸法よりも径方向外側に離れた側の内法寸法がより形成され、フェライト磁石の周方向の側面の少なくとも一部が空洞の内側面に当接することを特徴とする。

【0020】請求項6に係る発明は、請求項4又は5に記載のリラックス型回転電機において、フェライト磁石の径方向外側面と、これに対向する空洞の内側面との間に隙間を設けたことを特徴とする。

【0021】請求項7に係る発明は、請求項1乃至6のいずれか1項に記載のリラックス型回転電機において、空洞の中間部を通る中心線と回転子の外周との交点を基準にして、空洞の径方向外側の側面までの厚みが、側端面までの周方向距離の0.5倍以上であることを特徴とする。

【0022】請求項8に係る発明は、請求項1乃至7のいずれか1項に記載のリラックス型回転電機において、空洞の中間部を通る中心線と回転子の外周との交差部に、凹形の窪みを形成したことを特徴とする。

【0023】請求項9に係る発明は、請求項1乃至8のいずれか1項に記載の永久磁石式リラックス型回転電機において、回転子の磁気抵抗の小さい部位は鉄心のみの磁極で構成され、かつ、磁極の周方向幅は、磁極ピッチの0.15乃至0.35倍とすることを特徴とする。

【0024】請求項10に係る発明は、請求項1乃至9のいずれか1項に記載の永久磁石式リラックス型回転電機において、空洞の各側端面にフェライト磁石より磁気エネルギーの高い永久磁石を嵌装したことを特徴とする。

【0025】請求項11に係る発明は、電機子コイルを有する電機子と、周方向に磁気抵抗の異なる部位を有する回転子とを備えるリラックス型回転電機において、回転子の磁気抵抗の大きい部位は、中央部とこの中央部に対して周方向の両側に接続して径方向外側に延出する側端面とを有する空洞と、空洞の側端面に嵌装されるフェライト磁石より磁気エネルギーの高い永久磁石と、を備え、空洞の中央部の径方向の内法寸法よりも側端面の周方向の内法寸法を小さくしたことを特徴とする。

【0026】請求項12に係る発明は、電機子コイルを有する電機子と、周方向に磁気抵抗の異なる部位を有する回転子とを備えるリラックス型回転電機において、回転子の磁気抵抗の小さい部位は鉄心のみの磁極で構成

され、磁極の周方向幅は磁極のピッチの0.15乃至0.35倍とし、磁極間には径方向外側に磁極に接続する鉄心を有し、鉄心の内側に空洞が形成され、空洞の周方向の両端部を空けてその中央部に電機子の磁束を打ち消す方向に磁化されている永久磁石を嵌装したことを特徴とする。

【0027】請求項13に係る発明は、請求項12に記載のリラックス型回転電機において、空洞の中間部を通る中心線と回転子の外周との交差部に、凹形の窪みを形成したことを特徴とする。

【0028】請求項14に係る発明は、請求項12又は13に記載のリラックス型回転電機において、永久磁石は樹脂と磁石粉から作られていることを特徴とする。

【0029】請求項15に係る発明は、請求項1乃至14のいずれか1項に記載のリラックス型回転電機において、電機子巻線に鎖交するq軸磁束において、負荷時に電流による磁束とフェライト磁石又は永久磁石による磁束が相殺されて零となる状態で動作させることを特徴とする。

【0030】

【発明の実施の形態】以下、本発明を図面に示す好適な実施形態に基づいて詳細に説明する。図1は本発明に係るリラックス型回転電機の第1の実施形態の構成を示す横断面図である。同図において、電機子1は、複数のスロットが設けられた電磁鋼板を積層してなる電機子鉄心2と、スロットにそれぞれ収められた電機子コイル3とで構成される。回転子5Aは、電磁鋼板を積層した回転子鉄心6と複数のフェライト磁石7とで構成される。この場合、回転子鉄心6には、周方向を例えば $2n$ (n は整数)等分した各等分点に空洞8が形成されている。空洞8の周方向の中央部9の対向壁の径方向寸法(以下、q軸電機子磁束の通過方向を考慮して深さともいう)は大きく、空洞8の周方向の両側の側端面10は外周面に近づけて形成されると共に、周方向寸法(以下、q軸電機子磁束の通過方向を考慮して深さともいう)は小さく形成されている。

【0031】図2は回転子5Aの磁極間の空洞部の近傍を拡大して示した部分断面図である。空洞8の側端面10の磁束の通過方向で見る深さを $Cs1$ 、幅を $Cs2$ とし、空洞8の中央部9の磁束の通過方向で見た深さを Cd とすると、本実施形態では $Cs1 = 6 \times Lg$ 、 $Cs2 = 0.5 \times Cd$ に形成している。ここで、 Lg はエアギャップ長である。また、空洞8の中央部9にはフェライト磁石7が嵌装され、このフェライト磁石7は磁気抵抗の高い部分を通る電機子の磁束を打ち消すように磁化されている。さらに、空洞8の中央部9の周方向の両側に位置する対向内側面8sは、それぞれ平面状に形成されると共に、回転中心に近い側の相互間隔と比較して径方向外側に離れた側の相互間隔がより狭くされた傾斜面が形成され、フェライト磁石7もこれに嵌合するように、

径方向外側に先細に形成されている。

【0032】上記のように構成されたリラクタンス型回転電機における、耐減磁、トルク、永久磁石の保持及び可変速運転と効率について、図3をも参照して以下に説明する。

【0033】a：耐減磁

隣り合う空洞8の間に存在する磁極部鉄心6aは磁気抵抗の低い主磁極を形成している。逆に、これらの磁極間に空洞8が存在するので、この磁極間の磁気抵抗は高くなる。空洞8が形成された部分に対するq軸電機子磁束は図3に示すように分布すると考えられる。すなわち、空洞8の中央部9は深さが大きいので、磁気抵抗はかなり大きくなり、空洞8の側端部10の磁気抵抗は中央部9よりも小さくなっている。このため、電流による減磁界は空洞8の側端部10において高く、磁束も集中す

$$0.3 < \text{磁石の厚み(磁化方向)} M_t / \text{磁石の幅} M_w < 1.0 \quad \dots (1)$$

を持つ磁石形状にすると、電機子反作用磁束を効果的に相殺できる永久磁石の磁束を確保した上で、高磁気抵抗とすることができる。すなわち、高効率で大きなリラク

$$0.4 < \text{磁石の厚み} M_t (\text{磁化方向}) / \text{磁石の幅} M_w < 0.6 \quad \dots (2)$$

を持つ磁石形状とすると、トルクと力率と可変速範囲(誘起電圧が小)の高い値が得られる。

【0035】c：永久磁石の保持

回転時には永久磁石に遠心力が作用するので、磁石を保持する必要がある。本実施形態では、空洞8の周方向に対向する内側面8sは、中心部に近い側の相互間隔と比較して径方向外側に離れた側の相互間隔が狭く形成され、フェライト磁石7も空洞8の中央部9に、その半分程度が接触するように形成されているため、フェライト磁石7の遠心力を傾斜した内側面8sで受けることになり、フェライト磁石7による内側面8sの一部に応力が集中することを緩和することができ、鉄心が永久磁石7を強固に保持することができる。

【0036】d：可変速運転と効率

一般的な永久磁石モータ、埋め込み型永久磁石モータ(IPM)では永久磁石のエアギャップの磁束密度は約1[T]程度と高く、誘起電圧も高くなる。また、鉄損も大である。本実施形態では、永久磁石のエアギャップ磁束密度は0.1~0.2[T]程度であり、永久磁石モータの磁束の1/10~1/5でも大きな出力が得られるため次のような利点がある。

【0037】高速回転で過大な誘起電圧を発生しないため、過電圧でインバータのパワー素子やコンデンサを破損することはない。

【0038】本実施形態では、d軸電流が主に磁界を形成する励磁電流であり、q軸電流はトルク電流となる。従って、高速回転になるにつれて、励磁電流であるd軸電流を小さくすれば一定電圧で高速回転まで容易に運転できる。従って、永久磁石モータのように永久磁石の磁束による過大な誘起電圧を打ち消すような弱め磁束のた

る。一方、空洞8の中央部9に嵌装されたフェライト磁石7における減磁界は小さくなる。したがって、保磁力の小さなフェライト磁石7を使用しても負荷時に不可逆減磁を生じることはない。

【0034】b：トルク

空洞8の中央部9は深さが大きいので磁気抵抗はかなり大きくなっている。従って、リラクタンストルクを大にすることができる。また、磁極部鉄心6aの幅Cs2は空洞8で制限されるが、空洞8が形成された部位の側端部10までの周方向幅及び空洞8の径方向外側の径方向幅は広がっているため、鉄心の磁気飽和によるd軸インダクタンスの低下を緩和できる。ここで、図1に示したように、フェライト磁石7の径方向の寸法をMt、フェライト磁石7の周方向の寸法をMwとした場合、次式の関係、

$$0.3 < \text{磁石の厚み(磁化方向)} M_t / \text{磁石の幅} M_w < 1.0 \quad \dots (1)$$

タンストルクが得られる。より好ましくは、次式の関係、

$$0.4 < \text{磁石の厚み} M_t (\text{磁化方向}) / \text{磁石の幅} M_w < 0.6 \quad \dots (2)$$

めの大きな電流を流す必要はない。また、弱め磁束で生じる高周波鉄損も僅かである。

【0039】運転状態に応じて、d軸の励磁電流とq軸のトルク電流を変化させることができ、最適な状態で運転できるので軽負荷から高負荷、低速から高速回転まで広範囲で効率が向上する。

【0040】特に、外部から回転電機が空転させられている状態がある場合、永久磁石回転電機、埋め込み型永久磁石回転電機は、中・高速回転時に磁石の誘起電圧を電源電圧以下に抑制するための弱め磁束の電流を流し続けなければならない。つまり、出力を発生してないにもかかわらず電流を流すため、発生したジュール熱による電力の損失が積算されて総合運転効率が低下する。

【0041】これに対して、本実施形態は誘起電圧が従来の永久磁石回転電機の1/10程度であるので、空転時に誘起電圧を低減する必要が無く、電流によるジュール熱による損失は発生しない。したがって、総合運転効率も向上できる。

【0042】さらに、永久磁石回転電機は磁石磁束と電流で出力を発生するため、高い磁束を発生する希土類磁石を適用しなければならない。NdFeB等の希土類磁石は電気抵抗が小さいため、高調波磁界により磁石内に渦電流が発生して、損失が発生する。さらに、この損失のため磁石が高温になり不可逆減磁を起こす場合もある。一方、フェライト磁石の電気抵抗は希土類磁石の100倍程度もあるので、ほとんど渦電流が発生せず、総合運転効率を向上させることができる。また、回転子損失により永久磁石が熱減磁することもない。

【0043】e：信頼性：永久磁石7による巻線の鎖交磁束は少ないので、巻線が電氣的に短絡した状態で回転

しても過大な短絡電流は流れず、巻線を焼損することはない。さらに電気自動車、電車等の駆動モータに適用した場合でも、短絡故障時に急ブレーキが作用することが無く、また、回転時のブレーキ力は僅かであるので牽引することができる。

【0044】仮に、永久磁石7が不可逆減磁しても、本実施形態ではリラクタンストルクが主であるので、出力は低下するが、純粋なリラクタンスモータとして駆動することができる。

【0045】図4は本発明に係るリラクタンス型回転電機の第2の実施形態の回転子の構成を示す横断面図であり、図5は磁極間の空洞部の近傍を拡大して示した部分断面図である。ここで、回転子5Bは、回転子鉄心6の回転中心Oから見て空洞8の周方向の中心の延長上の外周面に凹形の窪み6cを形成したものである。ここで、回転子鉄心6の回転中心Oと、隣接する空洞8の中間部における側端部10の外縁とを直線的に結んだ範囲が主磁極幅Mwを形成している。なお、窪み6cを形成した以外は第1の実施形態と同一であるので、それぞれ同一の符号を付してその説明を省略する。

【0046】この第2の実施形態のように、回転子鉄心6の空洞8の周方向の中心の延長上の外周面に凹形の窪み6cを形成することによって、磁極間のフェライト磁石7の外周部の磁気抵抗が、一層大きくされる。ここで、例えば、空洞8が形成された部位の径方向外側に形成した窪み6cの縁から側端部10までの周方向幅をWdb1とし、空洞8の径方向外側の幅をWbd2としたとき、 $Wbd2/Wdb1 \geq 0.5$ のように構成する。

【0047】これにより、d軸バイパス磁路6bは、空洞8の一方の側端部10から他方の側端部10までが磁気回路となる。このd軸バイパス磁路6bの外周部の磁束密度を1[T]とすると、d軸バイパス磁路6bの中央部(外周から一番深い箇所)では2[T]以下となるので磁気飽和の影響を緩和することができ、d軸の磁気抵抗が小となり、負荷時の電流が大きな運転領域でもインダクタンスは大きくなるので、大きなリラクタンストルクが得られる。

【0048】すなわち、d軸とq軸のインダクタンスの差が大きくなり、q軸磁束の絶対値が小さくなると、電圧降下分も減少するので、力率の向上と電圧源で駆動しているときの最高回転数が伸びる。これにより、可変速範囲をさらに拡大できる。この場合、磁気抵抗の低い磁極部分6aは鉄心のみで構成され、磁極鉄心6aの周方向幅Mwは磁極ピッチの0.15~0.35倍とすると良好な結果が得られた。

【0049】図6は、第2の実施形態において主磁極の幅/磁極ピッチを変化させたときのリラクタンストルクの変化と、d軸インダクタンスからq軸のインダクタンスを引いたインダクタンス差の変化とを示している。主磁極の幅/磁極ピッチが0.15~0.35の範囲で高

いトルク、大きなインダクタンスの差が得られている。好ましくは、0.2~0.3の範囲が最もよい値が得られることが分かる。

【0050】図7は本発明に係るリラクタンス型回転電機の第3の実施形態の回転子の構成を示す部分横断面図である。図中、図5と同一の要素には同一の符号を付してその説明を省略する。この実施形態による回転子5Cは、フェライト磁石7の径方向外側の面と、その外側に位置する外周側鉄心、すなわち、d軸バイパス磁路6bとの間に間隙14を設けた点が第1及び第2の実施形態と構成を異にしている。

【0051】図7において、フェライト磁石7の径方向外側に位置するd軸バイパス磁路6bは、d軸、すなわち、磁気抵抗の低い磁極の中心軸に沿った方向の磁束が周方向に通る磁路であり、磁気回路では磁極と並列に配置されるので、d軸磁束のバイパス磁路となる。なお、q軸は磁気抵抗の大きい領域となり、空洞の中心軸に沿った方向となる。フェライト磁石7とその外周側に位置するd軸バイパス磁路6b間に間隙14を設けたので、フェライト磁石7の遠心力がd軸バイパス磁路6bにかかることがなく、空洞8の中央部9の傾斜した内側面8sのみで受けることとなる。これによって、強度的に弱いd軸バイパス磁路6bを破損することを未然に防止することができる。

【0052】図8は本発明に係るリラクタンス型回転電機の第4の実施形態の回転子の構成を示す部分横断面図である。図中、第2の実施形態を示す図5と同一の要素には同一の符号を付してその説明を省略する。この実施形態による回転子5Dは、空洞8の側端部10にフェライト磁石7より磁気エネルギーの高いNdFeB磁石11を嵌装したものである。ここで、NdFeB磁石11は保磁力が高く、例えばフェライト磁石7の保磁力は300kA/mであるのに対して、NdFeB磁石11は1000kA/mである。両者が同じ厚みの磁石であれば、約3~4倍の電流による減磁界に耐え得る。また、空洞8の側端部10は電流による減磁界が高くなる。

【0053】このように、第4の実施形態では空洞8の側端部10に保磁力の高いNdFeB磁石11を嵌装しているので、減磁することなく、永久磁石の磁束を増加させて永久磁石によるトルクを増加させることができる。空洞8の中央部9は磁気抵抗が大となり、リラクタンストルクが高くなり、同時にフェライト磁石7を厚くできるため、電流による減磁界に対しても強くなる効果が得られる。

【0054】図9は本発明に係るリラクタンス型回転電機の第5の実施形態の回転子の構成を示す部分横断面図である。この実施形態による回転子5Eは、図8に示す第4の実施形態のうち、フェライト磁石7を除去し、空洞8の中央部9を空気のみとするか、ここに非磁性材(図示を省略)を挿入するかのいずれか一方を採用した

ものである。

【0055】本発明に係る回転電機では、リラクタンストルクが主であり、永久磁石によるトルクは全トルクの10～30%程度である。中央部9はフェライト磁石7を除去しても、磁気抵抗は略同じであるので、支配的なリラクタンストルクは僅かな減少となる。NdFeB磁石11はフェライト磁石7の10倍の磁気エネルギーを持つため、NdFeB磁石11の体積を図8に示したもののより若干増加すれば、フェライト磁石7に相当する磁束を補って同等のトルクが得られる。

【0056】図10は本発明に係るリラクタンス形回転電機の第6の実施形態の回転子の構成を示す横断面図である。図中、第2の実施形態を示す図4と同一の要素には同一の符号を付してその説明を省略する。この実施形態による回転子5Fは、空洞8Aの径方向内側の内面が平面をなし、径方向外側の内面がその外側に向かって凹状の円弧面をなし、さらに、周方向に相互に対向する内側面は放射状の平面をなしており、回転中心から見て末広がりの対向側面を形成している。そして、この空洞8

$$T = P \times (L_d \cdot I_d \cdot I_q - (L_q \cdot I_q - \psi_m) I_d) \quad \dots (3)$$

ここで、

L_d , L_q : d軸, q軸のインダクタンス、

I_d , I_q : d軸, q軸の電流、

ψ_m : 永久磁石の鎖交磁束

$$\lambda_q = L_q \cdot I_q - \psi_m = 0$$

q軸磁束 λ_q は0となるので、負荷時の電圧はd軸電圧のみとなり、力率を向上できる。同時に、(3)式から分かるようにq軸磁束 λ_q は負のトルクを発生しており、空洞部8に漏れる磁束である λ_q の磁束を減少させることにより、 λ_q による負のトルクを減少させてトルクも増加する。同時に、鉄心のコアバックを通る全磁束は少なくなるので、鉄心コアバックの磁気飽和も緩和されて出力も向上する。

【0060】図11は本発明に係るリラクタンス形回転電機の第7の実施形態の回転子の構成を示す横断面図である。図中、第6の実施形態を示す図10と同一の要素には同一の符号を付してその説明を省略する。この実施形態における回転子5Gは空洞8Bの径方向内側の内面が、平面の中央部とその両側が径方向外側に向かう斜面との組み合わせになっている点が図10と異なっている。また、この形状に嵌合するような樹脂成形磁石7Bとした点が図10と異なるだけであり、これ以外は図10と同一に構成され、同様な作用、効果が得られる。

【0061】

【発明の効果】以上の説明によって明らかなように、本発明によれば、不可逆減磁することなく、小型・高出力・高効率で広範囲の可変速運転を可能にするリラクタンス型回転電機を提供することができる。

【0062】また、信頼性が高く、製造性に優れたリラクタンス型回転電機を提供することができる。

Aの内部には径方向の内側及び外側が空洞8Aの内面に嵌合するが、周方向の側面は互いに平行に形成された樹脂成形磁石7bが嵌装されており、これによって側端部10が形成される。なお、樹脂成形磁石7Aは希土類永久磁石の粉を含んだ樹脂で成形したものである。そして、空洞の側面の鉄心6で樹脂成形磁石7Aを保持できないので、d軸バイパス磁路6bで樹脂成形磁石7Aを保持する。

【0057】この第6の実施形態は、希土類永久磁石の粉を含んだ樹脂を回転子鉄心の空洞部8に注入することにより、磁石7Aの成形と挿入を同時に行う。これにより、樹脂成形磁石7Aの機械加工及び回転子鉄心の空洞部8Aへの磁石7の挿入工程が簡素化される。さらに量産性が向上する。

【0058】この場合、電機子巻線に鎖交するq軸の磁束において、負荷時に電流による磁束と永久磁石による磁束が相殺されて零となる状態で動作させる。このときのトルクTを式で表現すると次のようになる。

【0059】

である。この実施形態に係る回転電機では、q軸電流による磁束を永久磁石7の磁束で相殺して零とする。すなわち、

$$\dots (4)$$

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係るリラクタンス型回転電機の第1の実施形態の構成を示す横断面図。

【図2】図1に示した第1の実施形態の回転子の磁極間の空洞部の近傍を拡大して示した部分断面図。

【図3】図1に示した第1の実施形態の動作を説明するために、d軸、q軸の各電機子磁束の経路を示した説明図。

【図4】本発明に係るリラクタンス型回転電機の第2の実施形態の回転子の構成を示す横断面図。

【図5】図4に示した第2の実施形態の回転子の磁極間の空洞部の近傍を拡大して示した部分断面図。

【図6】本発明に係る第2の実施形態の動作を説明するために、主磁極の幅/磁極ピッチのと、トルク及びd軸、q軸のインダクタンス差との関係を示す線図。

【図7】本発明に係るリラクタンス型回転電機の第3の実施形態の回転子の構成を示す部分横断面図。

【図8】本発明に係るリラクタンス型回転電機の第4の実施形態の回転子の構成を示す部分横断面図。

【図9】本発明に係るリラクタンス形回転電機の第5の実施形態の回転子の構成を示す部分横断面図。

【図10】本発明に係るリラクタンス形回転電機の第6の実施形態の回転子の構成を示す横断面図。

【図11】本発明に係るリラクタンス形回転電機の第7の実施形態の回転子の構成を示す横断面図。

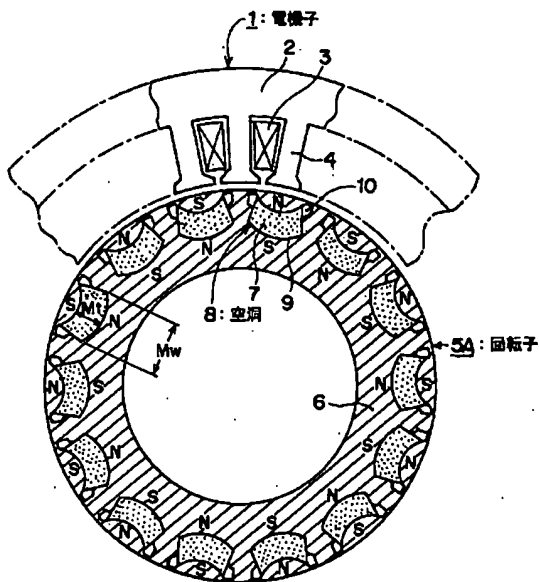
【図12】従来のリラクタンス型回転電機の横断面図。

【符号の説明】

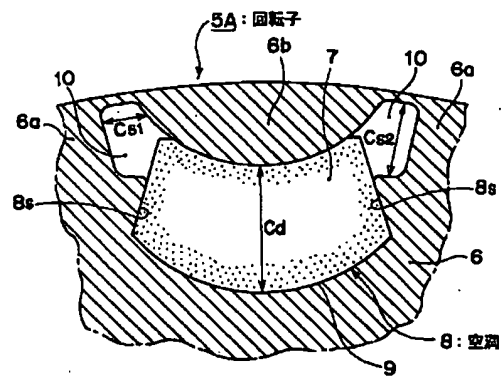
- 1 電機子
- 2 電機子鉄心
- 3 電機子コイル
- 4 電機子歯
- 5, 5A~5G 回転子
- 6 回転子鉄心
- 6a 磁極部鉄心
- 6b d軸バイパス磁路

- 7 フェライト磁石
- 7A, 7B 樹脂成形磁石
- 8, 8A, 8B 空洞
- 9 空洞の中央部
- 10 空洞の側端部
- 11 NdFeB磁石
- 12 回転子の凸部(磁極)
- 13 回転子の凹部
- 14 隙間

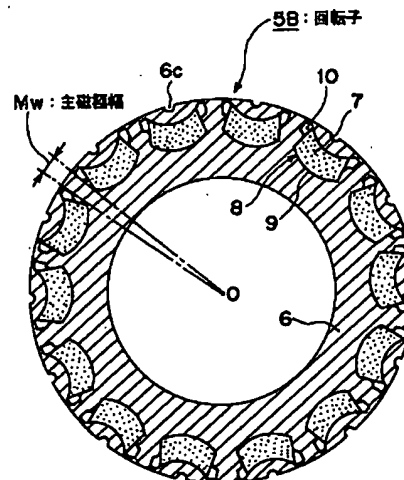
【図1】



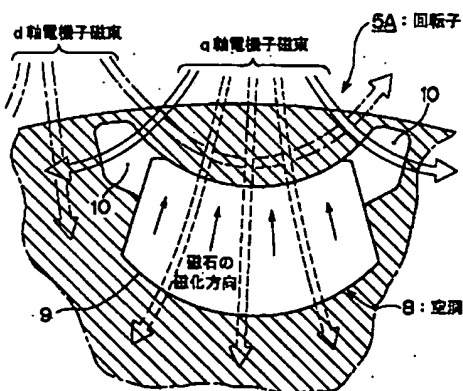
【図2】



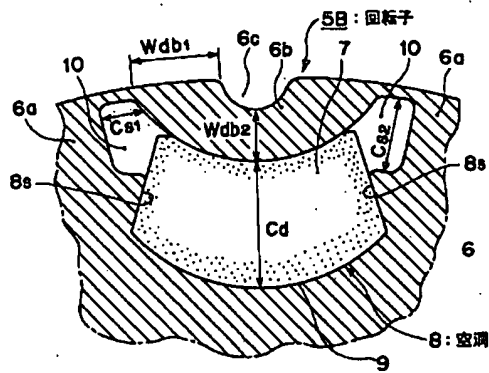
【図4】



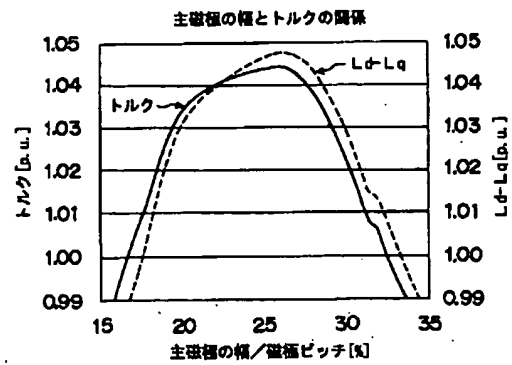
【図3】



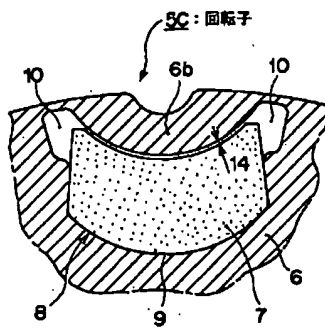
【図5】



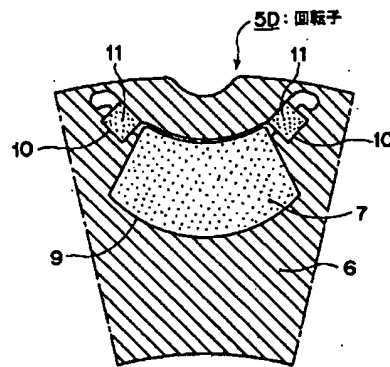
【図6】



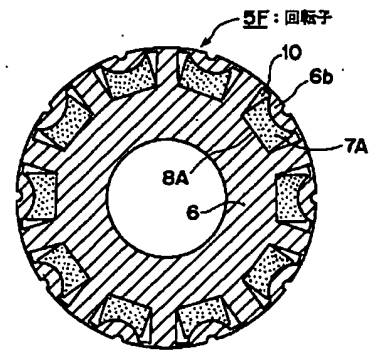
【図7】



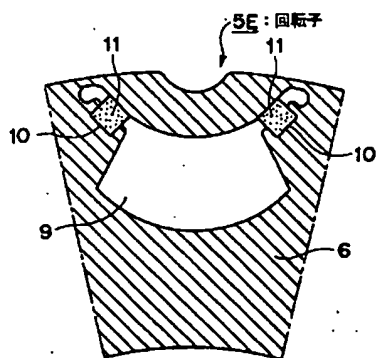
【図8】



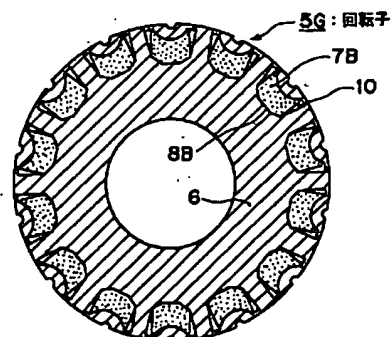
【図10'】



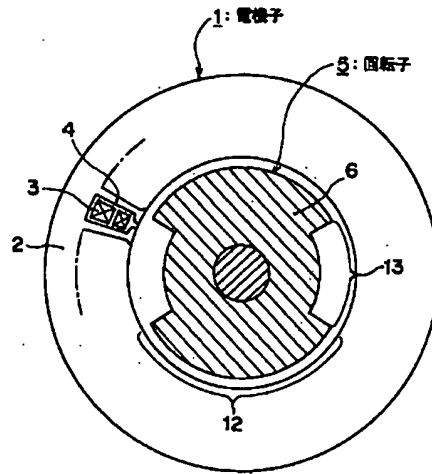
【図9】



【図 1 1】



【図12】



フロントページの続き

(51)Int. Cl.⁷
H02P 7/05

識別記号

F I
H02P 7/00

ターム(参考)

501

(72)発明者 高橋 則雄
神奈川県横浜市鶴見区末広町2丁目4番地
株式会社東芝京浜事業所内

Fターム(参考) 5H550 BB02 BB03 DD09 GG05 LL22
LL29
5H619 AA01 PP02 PP05 PP06 PP08
5H621 AA03 GA04 GA16 GA18 HH01
HH10
5H622 AA03 AA04 CA02 CA05 CA10
CA11 DD01 DD02 DD04 PP10
PP20